



TITLE:

γ/γ' 二相Co基超合金の合金設計と高温力学特性(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

陳, 正昊

CITATION:

陳, 正昊. γ/γ' 二相Co基超合金の合金設計と高温力学特性. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21768>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-03-24に公開; 許諾条件により要旨は2019-06-21に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	陳 正晃
論文題目	γ/γ' 二相 Co 基超合金の合金設計と高温力学特性		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、$L1_2$規則構造を有する γ'-$Co_3(Al,W)$の高温強度に及ぼす添加元素の影響について、降伏応力の逆温度依存性(YSA)の温度領域の観点から考察した結果と、γ'を強化相とする γ/γ'二相構造を有する Co 基超合金について、耐酸化性とクリープ特性が両立する合金設計指針の提案と実証を行った結果をとりまとめたものであり、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の研究背景および研究方針についてまとめられている。火力発電所などで用いられているガスタービンの熱効率向上にはタービン入口温度の上昇が有効であるが、飛躍的な高効率化のためには従来の Ni 基超合金に替わる新たな超高温耐熱材料の開発が不可欠となっている。その候補として研究対象である同じ γ/γ'二相構造を有する Co 基超合金があるが、その実用化のためには、γ'強化相の向上ならびに耐酸化性とクリープ特性が両立する合金設計が必要とされている。本研究は γ'-$Co_3(Al,W)$の YSA に及ぼす第三添加元素の影響を系統的に調査することで、γ'強化相の高温強度を上げる方法及び耐酸化性を備える γ/γ'二相 Co 基超合金の合金設計指針を得ることを目的とするものである。</p> <p>第2章では三元系 $Co_3(Al,W)$の室温及び高温での力学特性及びマイクロピラー単結晶圧縮試験による $L1_2$化合物の臨界分解せん断応力(CRSS)を測定する方法がまとめられている。$L1_2$化合物のマイクロピラーCRSS はピラーサイズの増加かとともにべき乗則に従い減少し、バルク CRSS はべき乗を $40\sim 50\mu m$ に外挿する値に相当することが示されている。べき乗則のべき乗指数は CRSS がサイズに依存する程度を反映し、CRSS が高いほど小さくなる傾向が示されている。その方法により三元系 $Co_3(Al,W)$の CRSS は、室温では $33\sim 38 MPa$ と測定され、Ni_3Al よりやや高いことがわかる。しかしながら、三元系 $Co_3(Al,W)$の YSA 温度領域が極めて狭いため、三元系 $Co_3(Al,W)$の高温強度が Ni_3Al より大幅に低く、強化相として十分な高温強度は提供できないことを明らかにしている。</p> <p>第3章では添加元素 Ni, Ta が $Co_3(Al,W)$の YSA 温度領域及び高温強度に及ぼす影響及び、YSA 温度領域と $L1_2$構造安定性の関係を詳細に調査した結果がまとめられている。Ni, Ta 添加とともに、YSA の開始温度が低温側に移行し、逆温度依存性(APB)を挟む $b=1/2[101]$転位がより低温から Kear-Wilsdorf 機構によりロックされることを明らかにしている。Ni, Ta 添加は γ'ソルバス温度を上げ、$L1_2$規則構造を安定化する効果が実証されている。YSA 開始温度と γ'ソルバス温度の間により一致が存在することを示してする。規則構造の安定性と積層欠陥エネルギーを上げることで、K-W ロックの熱活性過程に必要なエネルギーバリアを下げ、より低温から YSA を出現させることが可能であることを明らかにしている。また、γ'ソルバス温度を</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	陳 正昊
<p> 上げることで、YSA ピーク温度を高温側に移行させることが可能であり、YSA 温度領域を広げる方法を提示している。三元系 $\text{Co}_3(\text{Al}, \text{W})$ と比べ、Ni, Ta 添加材の高温強度が改善されていることが実証されている。 </p> <p> 第 4 章では、第 3 章で得られた結果をより一般的な L1_2 化合物に拡張し、L1_2 化合物に見られる降伏応力の温度依存性について考察を行っている。低温側に見られる負の降伏応力の温度依存性は固溶強化の影響に起因することを示している。また、(010)すべりのみが活動するとされる Fe_3Ge の(111)すべりを確認し、YSA の有無を $\text{Co}_3(\text{Al}, \text{W})$ と同様の方法で考察しうることを示している。 </p> <p> 第 5 章では γ' 強化相の高温強度、γ' 体積分率、γ/γ' 二相の格子ミスフィット及び耐酸化性の要素を統合的に考慮し、Ni, Ta, Ti, Cr, Si の共添加によるクリープ特性と耐酸化性が両立する γ/γ' 二相 Co 基超合金の設計方針の提案及び実証がまとめられている。Cr, Si 添加は超合金の耐酸化性に必要ではあるが、γ' ソルバス温度を下げるため、超合金のクリープ特性を低下させることが示されている。クリープ特性の低下を補正するためには、γ' ソルバス温度を可能な限り引き上げ、且つ均一な γ/γ' 二相構造を有する組成が求められる。Ta は W を置換する形で添加することができ、γ' ソルバス温度を著しく上げることが実証されている。しかし、Ta の固溶限が低いうえ、γ' 体積分率が高温で急激に低下するため、優れるクリープ特性は得られないことを明らかにしている。Ti は Al, W, Co を同時に置換する形で添加することができ、γ' ソルバス温度と γ' 体積分率を同時に上げることが実証されている。しかし、Ti 単独添加材の γ' 高温強度が低いため、優れるクリープ特性は得られないことを明らかにしている。一方、Ta, Ti を共添加することで γ' ソルバス温度と高温強度を同時に改善することができ、比較的の高いクリープ特性が得られることが示されている。Ni は γ' 高温強度と体積分率を上げるだけでなく、Ta と Ti の固溶限を上げる効果も確認されている。しかし、Ni の大量添加は格子ミスフィットを過度に低下させる恐れがある。本研究は各添加元素の固溶限及び超合金の格子ミスフィットを境界条件に、最適となる組成を提案している。 </p> <p> 第 6 章では超合金がクリープ変形で形成するラフト構造の方向とクリープ特性の関係について考察を行っている。縦方向(P-type)のラフト構造と比べ、横方向(N-type)のラフト構造がクリープ変形に強く、正の格子ミスフィットを有する Co 基超合金は圧縮荷重の関係で使用する方がより優れるクリープ特性を発揮することを示している。 </p> <p> 第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。 </p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、 γ' -Co₃(Al,W)を強化相とする γ/γ' 二相 Co 基超合金の設計指針及び高温力学特性について系統的に調査を行った結果を取りまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. バルク単結晶の作製が困難な L1₂ 構造を有する化合物の力学特性について、マイクロピラー単結晶圧縮試験の手法により評価できることを明らかにした。
2. γ' -Co₃(Al,W)強化相に及ぼす元素添加の影響を系統的に調査し、規則構造の安定性及び積層欠陥エネルギーを上げる元素の添加は YSA 開始温度を低温側に移行させ、規則構造を安定化する元素の添加は YSA ピーク温度を高温側に移行させることを明らかにした。さらに γ' ソルバス温度を上げる元素を添加することで、YSA 温度領域を広げることで γ' 高温強度を向上させることを明らかにしたことは、 γ' を強化相とする二相超合金の設計に当たり極めて有益な成果である。
3. γ/γ' 二相 Co 基超合金の合金設計においては、耐酸化性元素 Cr, Si とクリープ特性を向上する元素 Ni, Ta, Ti を共添加する設計方針を提案した。Cr, Si 添加は超合金の耐酸化性に必要である一方、クリープ特性を大幅に低下させること、Ni, Ta, Ti 共添加により γ' 体積分率と γ' 高温強度を同時に上げることでクリープ特性を改善できることを明らかにした。なかでも固溶限と格子ミスフィットの二つの条件により、最適となる合金組成を予測する合金設計方法の提案、耐酸化性とクリープ特性が両立する Co 基超合金の設計において特筆すべき成果である。

以上のように本論文は、L1₂ 構造を有する γ' 強化相の高温強度を向上する方法と、耐酸化性とクリープ特性が両立する γ/γ' Co 基超合金の合金設計指針を示したもので、学術的のみならず実用的にも高く評価できる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 31 年 2 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。